

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



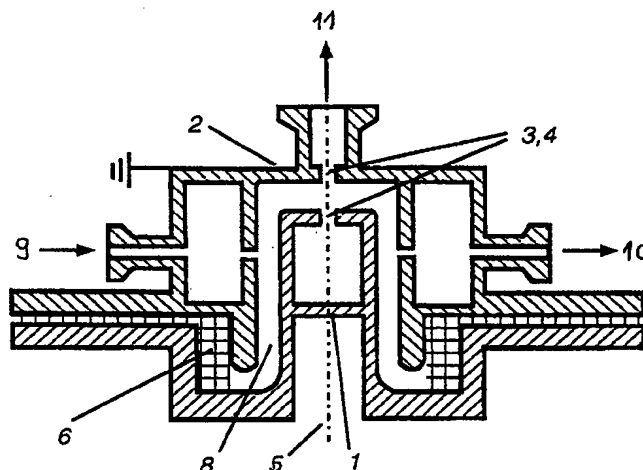
<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>H05G 2/00, H01J 17/04, 17/40, H05H 1/24</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/29145</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 10. Juni 1999 (10.06.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/EP98/07829 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 2. Dezember 1998 (02.12.98)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 197 53 696.4      3. Dezember 1997 (03.12.97)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> NEFF, Willi [DE/BE]; Joseph-Olbertz-Str. 40, B-4721 Kelmis (BE). LEBERT, Rainer [DE/BE]; Platzegel 21, B-4721 Kelmis (BE). SCHRIEVER, Guido [DE/DE]; Benediktinerstrasse 12, D-52066 Aachen (DE). BERGMANN, Klaus [DE/DE]; Rolandstrasse 35-39, D-52143 Herzogenrath (DE).  <b>(74) Gemeinsamer Vertreter:</b> FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.; Patentstelle, Leonrodstrasse 68, D-80636 München (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.          Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	

**(54) Title:** METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING EXTREME ULTRAVIOLET AND SOFT X-RAYS FROM A GASEOUS DISCHARGE

**(54) Bezeichnung:** VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON EXTREM-ULTRAVIOLETTSTRAHLUNG UND WEICHER RÖNTGENSTRAHLUNG AUS EINER GASENTLADUNG

**(57) Abstract**

The invention relates to a method and a device for producing extreme ultraviolet (EUV) and soft x-rays from a gaseous discharge. The inventive device is characterised in that it comprises at least two electrodes defining a symmetry axis and having each an opening in alignment. An intermediate chamber is provided between the anode and the cathode, where gas inflation is substantially homogeneous in space. The electrodes are formed in such a way that the gaseous discharge takes place only in a volume delimited by the aligned openings. Current pulses are chosen so as to create, on the symmetry axis, a very hot and dense plasma channel which constitutes a plasma source for extreme ultraviolet and/or soft x-rays. The inventive device is particularly useful in EUV-projection lithography in a spectral range around 13 nm.



### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett(EUV)- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung. Die Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Elektroden mit je einer fluchtenden Öffnung vorgesehen sind, durch welche eine Symmetrieachse definiert ist, wobei zwischen Anode und Kathode ein Zwischenraum mit einer weitgehend räumlich homogenen Gasfüllung vorgesehen ist, die Elektroden so geformt sind, daß sich die Gasentladung ausschließlich in dem durch die fluchtenden Öffnungen bestimmten Volumen ausbildet, und wobei die Strompulse hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart gewählt sind, daß ein dichter heißer Plasmakanal auf der Symmetrieachse entsteht, welcher Plasma Quelle für EUV- und/oder weiche Röntgenstrahlung ist. Bevorzugtes Anwendungsgebiet ist die EUV-Projektionslithographie im Spektralbereich um 13 nm.

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Patentanmeldung:

### „Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von Extrem- Ultraviolettstrahlung und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung“

5

10

#### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung von Extrem-  
Ultraviolett- und Röntgenstrahlung wobei das die Strahlung emittierende Medium ein  
15 Plasma ist. Bevorzugtes Anwendungsgebiet sind Anwendungen, bei denen Röntgenlicht  
im Wellenlängenbereich um 10 nm erforderlich sind, wie es zum Beispiel bei der EUV-  
Projektionslithographie für den Spektralbereich um 13 nm der Fall ist, wo kompakte,  
preisgünstige und langlebige Röntgenlichtquellen erforderlich sind. Ein weiteres Anwen-  
dungsfeld sind Röntgenanalyseverfahren wie die Photoelektronenspektroskopie oder die  
20 Röntgenfluoreszenzanalyse, die den Spektralbereich der weichen Röntgenstrahlung nut-  
zen, und welche mit der Verfügbarkeit einer kompakten Quelle im Labormaßstab realisiert  
werden können. Ferner können Verfahren und Vorrichtung zur Charakterisierung von  
Röntgenoptiken oder Röntgendetektoren eingesetzt werden.

#### 25 Stand der Technik

Der Einsatz eines Plasmas als Quelle für Röntgenlicht ist bekannt. Beispielsweise werden  
die Plasmafokusentladung, die Z-Pinch-Entladung, die Kapillarentladung oder der Gas-Puff

hierzu eingesetzt. So wird bei der Z-Pinch-Entladung zwischen zwei flächig ausgeführten Elektroden ein Plasma erzeugt, wobei über die Wahl der Spannungspulse zwei Betriebsweisen zur Verfügung stehen. Zum einen ist ein Betrieb möglich, bei welcher die Gasentladung auf der Oberfläche des Isolators zündet. Dies führt zu einem erheblichen Verschleiß des Isolators. Zum anderen können die Strompulse auch so gewählt werden, daß die Gasentladung im ganzen zur Verfügung stehenden und durch den Isolator begrenzten Volumen zwischen Anode und Kathode zündet. Bei Beginn der Plasmazündung sind damit auch ein oder mehrere feine Plasmakanäle in der Nähe des Isolators und der Elektroden anzutreffen, wodurch diese einen Abbrand erfahren. Durch das Eigenmagnetfeld des dann fließenden Stromes kommt es zum Zusammenschnüren der Plasmakanäle zu einem einzigen Plasmakanal (Pinch-Effekt) entlang der Symmetrieachse der Elektrodenanordnung. Beim Erlöschen des Stromes breitet sich das Plasma wieder bis zum Isolator aus was ebenfalls mit einem Abbrand des Isolatormaterials verbunden ist. Ein weiterer Nachteil der Z-Pinch-Entladung ist ferner der Umstand, daß für die Bildung eines effektiv emittierenden Plasmas der Selbstdurchbruchbetrieb ungeeignet ist. Üblicherweise wird der Z-Pinch nur im Einzelpulsbetrieb eingesetzt, und dementsprechend ist die Ausbeute an Röntgenlicht gering. Stand der Technik für die Repetitionsrate, d.h die Rate für den Auf- und Abbau des röntgenlichtemittierenden Plasmas, sind typischerweise maximal 20 Pulse pro Sekunde. Wird der Gas-Puff zur Erzeugung eines röntgenlichtemittierenden Plasmas eingesetzt, so wird über eine geeignet positionierte Öffnung in Isolator oder Elektroden schubweise Gas in den Zwischenraum zwischen Anode und Kathode eingelassen. Der Plasmaaufbau erfolgt dann mit dem eingelassenen Gas zwischen den Elektroden. Gas-Puff, Z-Pinch und auch die Plasmafokusentladung werden zudem bei hohen Entladeströmen ( $> 100$  kA) und im Bereich einiger Kilojoule für die elektrisch gespeicherte Energie betrieben. Sie sind daher für ein Plasma optimiert, welches Röntgenlicht im Spektralbereich einiger Nanometer (harte Röntgenstrahlung) emittiert.

Für langwelligere Strahlung im Bereich von ca. 10 nm bis ca. 50 nm werden Gasentladungen mit kleinen Strömen bzw. einer kleineren pro Puls umgesetzten Energie eingesetzt. Dabei kommt zum Beispiel die Kapillarentladung zum Einsatz, wobei sich die glei-

chen Nachteile hinsichtlich des Verschleißes wie oben beschrieben ergeben. Als eine Ausführungsvarianten sei hier eine Kapillarentladung genannt, bei der der Isolator zwingend für die Zündung des Plasmas gebraucht wird. Kennzeichnend bei diesem Entladungstyp ist das Verdampfen von Isolatormaterial welches nachfolgend in den Plasmazustand überführt wird. Der Abbrand des Isolators ist damit ebenfalls hoch. Alle genannten Entladungstypen werden dabei mit einem Arbeitspunkt auf dem rechten Ast der Paschenkurve betrieben, wobei durch den Pinch-Effekt gleichzeitig das Plasma aufgeheizt wird um die erforderliche Temperatur für die Röntgenlichtemission zu erreichen.

- 10 Nach dem Stand der Technik ist der Einsatz von Pseudofunkenschaltern bekannt, der zum Beispiel in der Ausführungsvariante als Mehrkanalpseudofunkenschalter in der DE 39 42 307 A1 offenbart ist. Diese zeichnen sich u.a. dadurch aus, daß das Plasma nicht in Kontakt mit Isolator oder Elektrodenfläche gezündet wird, und daß daher deren Lebensdauer hoch ist. Ebenfalls vorteilhaft ist deren hohe Repetitionsrate. Nachteilig bei diesen
- 15 Schaltern ist jedoch, daß sie hinsichtlich der Gasart, des Gasdrucks und der Strompulse so betrieben werden, daß sich bei ihnen ein Plasma mit nur geringer Energiedichte ausbildet welches eine effektive Emission von EUV- oder Röntgenstrahlung ausschließt. Für die Emission von EUV- oder Röntgenstrahlung wäre daher eine Vorrichtung vorteilhaft, welche die Vorzüge von Z-Pinch-Entladung mit den Vorzügen des Pseudofunkenschalters
- 20 kombiniert.

### **Darstellung der Erfindung**

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren für die
- 25 Erzeugung von Röntgenstrahlung und/oder extremer Ultraviolett- (EUV-) Strahlung aus einer Gasentladung bereitzustellen, bei welchen der Isolator keinem Verschleiß ausgesetzt ist, und bei welchen Repetitionsraten bis in den Kilohertzbereich möglich sind, und bei denen bei Wahl geeigneter Parameter für Elektrodengeometrie, Gasdruck und -art sowie für die Strompulse ein Plasma mit hinreichend hoher Energiedichte bzw. Temperatur erzeugt wird, so daß es zu einer effektiven Emission von weicher Röntgenstrahlung kommt.
- 30

Die Lösung der vorrichtungsgemäßen Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 gegebenen Merkmale gelöst, wobei vorteilhafte Ausgestaltungen in den Unteransprüchen 2 - 13 angegeben sind. Die verfahrensmäßige Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 14 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens werden in den Ansprüchen 15 - 25 angegeben.

Erfindungsgemäß wurde erkannt, daß die o.g. Nachteile für gasentladungserzeugte Röntgenquellen vermieden werden können wenn über den Einsatz einer geeigneten Elektrodengeometrie sichergestellt wird, daß sich nur fern vom Isolator Plasma befindet. Dies ist möglich, wenn dem System unter Ausnutzung einer geeignet gewählten Elektrodengeometrie, wie zum Beispiel einer Hohlkathode mit einer Hohlanode, eine vorgebbare Vorzugsrichtung aufgeprägt wird. Diese Vorzugsrichtung stellt im Sinne des Hittorfschen Umwegeffekts sicher, daß sich die Gasentladung ausschließlich entlang dieser Vorzugsrichtung fern vom Isolator ausbildet. Eine Elektrodenkonfiguration, die diese Anforderungen erfüllt, ist zum Beispiel diejenige des Einkanalpseudofunkenschalters, welche in **Fig.1** dargestellt ist. Hierbei müssen die Elektroden so gestaltet sein, daß sich zwischen ihnen ein gasgefüllter Zwischenraum (7) befindet, jede Elektrode (1, 2) eine fluchtende Öffnung (3, 4) aufweist durch welche eine Symmetrieachse (5) definiert wird, und die Elektroden zylindersymmetrisch bzgl. obiger Symmetrieachse (5) sind. Die Symmetrieachse ist dann die oben genannte Vorzugsrichtung. Die Öffnungen der Elektroden haben dabei Durchmesser im Millimeterbereich. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Isolator (6), welcher den Zwischenraum zwischen Anode und Kathode vom Außenbereich mit höherem Gasdruck trennt. Vorteilhaft ist es dabei, wenn der Isolator als Stapelung von Isolatoren und Metallscheiben ausgeführt ist, da dadurch die Spannungsfestigkeit verbessert wird. Der Elektrodenabstand liegt dabei im Millimeter- bis Zentimeterbereich. Der Gasdruck im Elektrodenzwischenraum liegt im Bereich von einigen Pascal bis einigen zehn Pascal. Der Arbeitspunkt wird dabei so gewählt, daß das Produkt aus Elektrodenabstand und Entladungsdruck auf dem linken Ast der Paschenkurve liegt. Die Zündspannung steigt in diesem Fall mit sinkendem Gasdruck bei fester Elektrodengeometrie. Allgemein hängt die

Zündspannung von der Elektrodengeometrie, der Zahl der Elektroden (mindestens 2), dem Durchmesser der Öffnungen in den mindestens zwei Elektroden, und dem gewählten Arbeitsgasdruck ab. Nach Anlegen einer Spannung an die Elektroden, welche vorteilhafterweise im Bereich von einigen Kilovolt bis einigen zehn Kilovolt liegt, wird ein elektrisches Feld im Elektrodenzwischenraum aufgebaut, welches dort in guter Näherung parallel zur Symmetrieachse verläuft. Wenn die Elektroden als Hohlelektroden ausgestaltet sind, ragen die elektrischen Feldlinien im Bereich der Öffnungen auch in die Hohlelektroden hinein, und ganz allgemein in die an die Zwischenraumbewandungen angrenzenden Raumbereiche.

Bei genügend hohen Spannungen kommt es durch die bei Gasentladungen allgemein bekannten Mechanismen der Vervielfachung von Ladungsträgern zu einer Gasentladung. Die Zündung erfolgt dabei entweder im Selbstdurchbruchbetrieb über bereits vorhandene Ladungsträger die zum Beispiel über die kosmische Höhenstrahlung erzeugt werden können, oder aber bei getriggertem Betrieb durch Injektion von Ladungsträgern (Plasma oder Elektronen) in den an die Kathode angrenzenden Raumbereich. Durch die beschriebene Elektrodengeometrie kann sich die Gasentladung nicht auf dem kleinsten Weg zwischen den Elektroden ausbreiten, weil in diesem Fall die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger größer als der Elektrodenabstand ist. Die Gasentladung sucht sich dann einen längeren Weg, da nur bei ausreichender Entladungsstrecke genügend viele ionisierende Stöße zur Aufrechterhaltung der Entladung möglich sind. Dieser längere Weg ist vorliegend durch die Öffnungen vorgebar, über welche die Symmetrieachse definiert ist. Dies hat zur Folge, daß sich nur ein einziger Plasmakanal ausbildet, der die oben definierte Symmetrieachse (5) besitzt und dessen seitliche Ausdehnung durch die Öffnungen bestimmt wird. Sind die Öffnungen zum Beispiel konzentrisch geformte Bohrlöcher, so bildet sich das Plasma innerhalb des durch die Bohrlochbegrenzungen definierten Zylindervolumens aus. Dies wird auch durch Computersimulationen theoretisch vorhergesagt (J.B. Bouef, L.C. Pitchford, Pseudospark discharge via computer simulation, IEEE Trans. Plas. Sc., Vol. 19(2), 1991). Bei einer Gasentladung der dargestellten Geometrie auf dem linken Ast der Paschenkurve erfolgt der Aufbau des Plasmakanals nicht wie bei einer Streamerentladung

über eine einzige kurzzeitige Elektronenlawine, sondern mehrstufig über Sekundärionisationsprozesse. Dadurch ist die Plasmaverteilung bereits in der Startphase in hohem Maße zylindersymmetrisch, ohne daß hierfür beispielsweise eine Isolatorwand erforderlich wäre. Dies hat zur Folge, daß auf zusätzliche Vorrichtungen zum Zünden des Plasmas bei der

5 erfindungsgemäßen Vorrichtung verzichtet werden kann, da die Gasentladung im Selbstdurchbruch erfolgen kann. Mit einer zusätzlichen Zündvorrichtung kann aber erreicht werden, daß die Röntgenpulse zeitlich präzise ausgelöst werden, falls die Anwendung dies erfordert.

- 10 Bei Vorhandensein eines Plasmas kommt es zum Fließen eines gepulsten Stromes, wobei der Strom von einer geeigneten Stromquelle zur Verfügung gestellt werden muß. Durch eine geeignete Wahl von Amplitude und Periodendauer der Strompulse kann die für die Röntgenlichtemission geeignete Temperatur des Plasmas eingestellt werden, welche typischerweise im fünfstelligen Kelvinbereich liegt. Das Gas oder Gasgemisch ist so zu wäh-
- 15 len, daß es im Plasmazustand charakteristische Strahlung im weichen Röntgenwellenlängenbereich emittiert, was bei Gasen insbesondere für Kernladungszahlen  $Z \geq 3$  der Fall ist. Die verwendeten Strompulse weisen vorteilhafterweise Amplituden mit zweistelliger Kiloamperezahl und Periodendauern im zwei- bis dreistelligem Nanosekundenbereich auf. Insbesondere bei diesen Parametern für die Strompulse wird das Plasma im Elektroden-
- 20 zwischenraum entlang der Symmetrieachse hinreichend komprimiert und dadurch aufgeheizt, daß es für die erforderliche Temperatur für die Röntgenlichtemission erreicht.

- Das Zurverfügungstellen der Strompulse erfolgt dabei durch eine Integration der Elektrodenkonfiguration in einen elektrischen Entladekreis, welcher vorteilhafterweise eine Kon-
- 25 densatorbank mit kapazitiv gespeicherter Energie aufweist. Dabei kann das Elektrodensystem entweder direkt mit der Kondensatorbank verbunden sein oder sich ein Schaltelement zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank befinden. Die direkte elektrische Verbindung eignet sich zum Beispiel beim Gasentladungsbetrieb im Selbstdurchbruch bei dem bei Erreichen der Zündfeldstärke die Gasentladung selbsttätig zündet. Der Einsatz
- 30 eines Schaltelements zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank erlaubt es, eine



Spannung an das Elektrodensystem anzulegen welche größer als die erforderliche Zündspannung ist. Da die Zündspannung bei gewählten Arbeitspunkt auf dem linken Ast der Paschenkurve mit sinkendem Gasdruck steigt, bedeutet dies, daß man dann bei höheren Gasdrücken arbeiten kann. Dies führt wunschgemäß zu einer höheren Intensität der emittierten Strahlung, da die Intensität quadratisch mit dem Gasdruck skaliert. Auch können Repetitionsraten bis in den Kilohertzbereich erreicht werden, was für viele Anwendungen einen Vorteil gegenüber dem Einzelschußbetrieb bedeutet.

Werden die für den Betrieb der Röntgenquelle erforderlichen Strompulse von einer Kondensatorbank zur Verfügung gestellt, so bildet diese zusammen mit dem Elektrodensystem einen gedämpften elektrischen Schwingkreis, dessen Schwingungsverhalten durch seine Kenngrößen Kapazität, Induktivität und ohmscher Widerstand bestimmt ist. Die oben angegebenen Werte für die Stromamplituden beziehen sich in einem solchen Fall auf die erste Halbwelle des in seiner Stärke oszillierenden und gleichzeitig abnehmenden Stromes.

Ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens sollen die erfindungsgemäße Vorrichtung an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

**Fig. 2** zeigt eine Elektrodengeometrie mit der wie beschrieben ohne Isolatorverschleiß Röntgenlicht aus einer Gasentladung heraus generiert werden kann. Der Abstand der rund ausgeführten Öffnungen (3, 4) beträgt 6 mm bei einem Durchmesser von 5 mm. Vom Gaseinlaß (9) her strömt stationär Sauerstoff Richtung Pumpe (10). Es wurde festgestellt, daß bei dieser zylindersymmetrischen Anordnung trotz des prinzipiell vorhandenen Druckgradienten die Druckunterschiede im Bereich der Öffnungen (3, 4) vernachlässigbar ist, und die Zündung des Plasmas nur in dem Volumen erfolgt, welches durch die Öffnungen von Anode und Kathode vorgegeben ist. Der stationäre Gasfluß sichert im vorliegenden Fall einen weitgehend räumlich homogenen Gasdruck. Es kann jedoch auch mit einem größeren Druckgradienten gearbeitet werden so daß zwischen Gaseinlaß (9) und Pumpe (10) ein Druckgefälle herrscht. Das Druckmeßgerät integriert Meßwerte über einen Zeit-

raum von 5 Sekunden und liefert einen Wert von 10 Pa. Der Arbeitspunkt ist dabei so gewählt, daß das Produkt aus Elektrodenabstand und Entladungsdruck auf dem linken Ast der Paschenkurve liegt. Das aufwendig gestaltete Elektrodensystem ist wie in der Zeichnung zu erkennen direkt mit einem Plattenkondensator verbunden. Der Plasmakanal bildet sich bei diesem Ausführungsbeispiel ausschließlich im durch und zwischen den Öffnungen (3, 4) definierten Kanal entlang der Symmetrieachse (5) aus. In anderen Raumbe-  
reichen zwischen Anode (2) und Kathode (1), zum Beispiel im Bereich (8), kann sich kein Plasmakanal ausbilden, da dort der für eine Zündung der Gasentladung erforderliche lange Weg nicht vorliegt. Dies hat zur Folge, daß der Isolator (6) keinen Abbrand erfährt. Bei  
einer Ladespannung von 6 kV zwischen Anode (2) und Kathode (1) betrug die Stromamplitude der ersten Halbwelle im hier praktizierten Selbstdurchbruchbetrieb ca. 15 kA bei einer Schwingungsdauer von 730 ns. Die emittierte Strahlung wird von einem Detektor (11) nachgewiesen.

**Fig. 3** zeigt ein mit einem Gitterspektrographen aufgenommenes Röntgenspektrum bei einer verwendeten Ladespannung von 6 kV. Bei diesem ist die detektierte Intensität **I** in willkürlichen Einheiten gegenüber der Wellenlänge  $\lambda$  in Nanometern abgetragen. Es treten charakteristische Übergänge von Sauerstoffionen auf, die im Plasmazustand nur noch 3 bis 4 Elektronen besitzen. Dies läßt auf eine Plasmatemperatur von ca. 20 bis 40 eV schließen.

### Patentansprüche

- 1.) Vorrichtung zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett (EUV)- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung, bei der mindestens zwei Elektroden mit je einer fluchtenden Öffnung vorgesehen sind durch welche eine Symmetrieachse definiert ist,  
5  
**dadurch gekennzeichnet,**  
- daß zwischen Anode und Kathode ein Zwischenraum mit einer weitgehend räumlich homogenen Gasfüllung vorgesehen ist,  
10  
- daß die Elektroden so geformt sind, daß sich die Gasentladung ausschließlich in dem durch die fluchtenden Öffnungen bestimmten Volumen ausbildet,  
- und daß die Strompulse hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart gewählt sind, daß ein dichter heißer Plasmakanal auf der Symmetrieachse entsteht welcher Plasma Quelle für EUV- und/oder weiche Röntgenstrahlung ist.  
15
- 2.) Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strompulse eine Periodendauer im zwei- bis dreistelligen Nanosekundenbereich besitzen.
- 3.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strompulse Amplituden im zweistelligen Kiloamperebereich aufweisen.  
20
- 4.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma eine Temperatur im sechsstelligen Kelvinbereich besitzt
- 5.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma Quelle für Strahlung mit einer Wellenlänge kleiner 50 nm ist.  
25
- 6.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Durchmesser der Öffnungen im Millimeterbereich liegt.

- 7.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Plasmazündung durch Injektion von Plasma oder Ladungsträgern in dem an die Kathode angrenzenden Raumbereich erfolgt.
- 5 8.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand der Elektroden im Millimeter- bis Zentimeterbereich liegt.
- 9.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Isolator zwischen Anode und Kathode als Stapel von Isolatoren und Metallscheiben  
10 ausgestaltet ist.
- 10.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 9, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strompulse von einer sich schnell entladenden Kondensatorbank zur Verfügung gestellt werden.
- 15 11.) Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Elektrodensystem direkt mit einer Kondensatorbank verbunden ist.
- 12.) Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank ein Schaltelement befindet.
- 20 13.) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 - 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß sich zwischen den Elektroden ein oder mehrere Gase mit einer Kernladungszahl  $Z \geq 3$  befinden.
- 25 14.) Verfahren zur Erzeugung von Extrem-Ultraviolett (EUV)- und weicher Röntgenstrahlung aus einer Gasentladung,  
**dadurch gekennzeichnet**,

- daß man in einem Zwischenraum, der sich zwischen mindestens zwei mit je einer fluchtenden Öffnung versehenen Elektroden befindet, eine weitgehend räumlich homogene Gasfüllung bereitstellt
  - 5      - daß man den Gasdruck so wählt, daß nach Anlegen einer Spannung an die Elektroden die mittlere freie Weglänge der Ladungsträger ausschließlich in dem durch die fluchtenden Öffnungen bestimmten Volumen ausreicht um dort ein Plasma auszubilden
  - 10      - und man die Strompulse hinsichtlich Amplitude und Periodendauer derart wählt, daß ein dichter heißer Plasmakanal entlang der Symmetrieachse entsteht welcher EUV- und/oder weiches Röntgenlicht emittiert.
- 15.) Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß Strompulse mit einer Periodendauer im zwei- bis dreistelligen Nanosekundenbereich gewählt werden.
- 15      16.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß Strompulse mit Amplituden im zweistelligen Kiloamperebereich gewählt werden.
- 17.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 16, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma eine Temperatur im sechsstelligen Kelvinbereich besitzt
- 20      18.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 17, **dadurch gekennzeichnet**, daß Gasdrücke im Bereich 1 Pa bis einigen 10 Pa gewählt werden.
- 25      19.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 18, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma Strahlung mit Wellenlängen kleiner 50 nm emittiert.
- 20.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 19, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Gase im Zwischenraum solche mit einer Kernladungszahl  $Z \geq 3$  gewählt werden.

- 21.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 20, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Plasma durch Injektion von Plasma oder Ladungsträgern in dem an die Kathode angrenzenden Raumbereich gezündet wird.
- 5 22.) Verfahren nach einem der Ansprüche 14 - 21, **dadurch gekennzeichnet**, daß der bei Vorhandensein eines Plasmas fließende Strom durch die schnelle Entladung kapazitiv gespeicherter Energie bereitgestellt wird.
- 10 23.) Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die schnelle Entladung dadurch erreicht wird, daß das Elektrodensystem direkt mit einer Kondensatorbank verbunden wird.
- 15 24.) Verfahren nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, daß die schnelle Entladung dadurch erreicht wird, daß ein zwischen Elektrodensystem und Kondensatorbank befindliches Schaltelement geschlossen wird.
- 25.) Verfahren nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet**, daß an die Elektroden eine Spannung angelegt wird welche größer als die Zündspannung der Gasentladung ist.

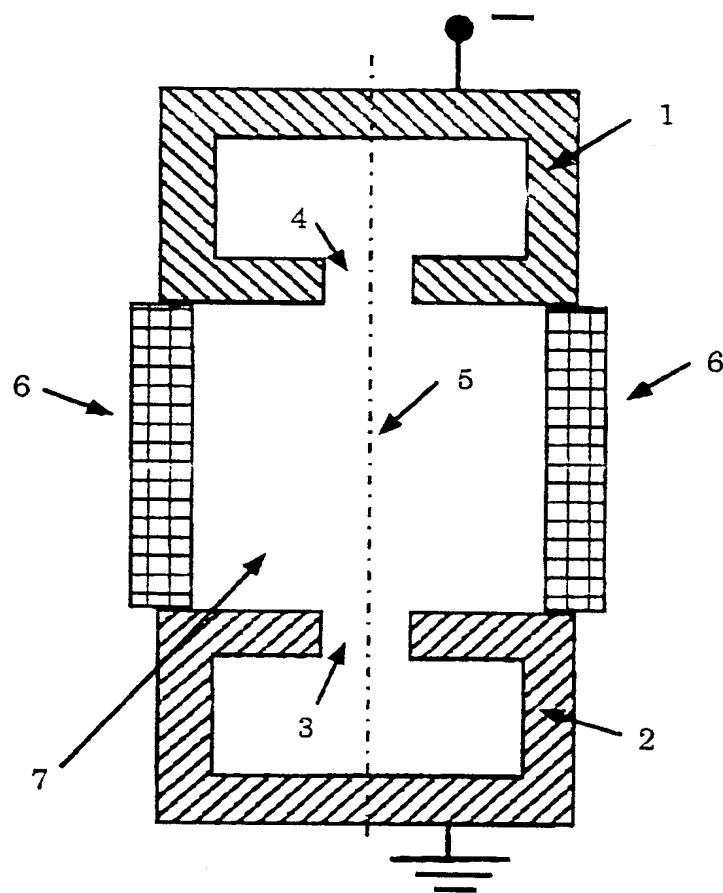


Fig. 1 : Prinzipbild für Elektrodengeometrie

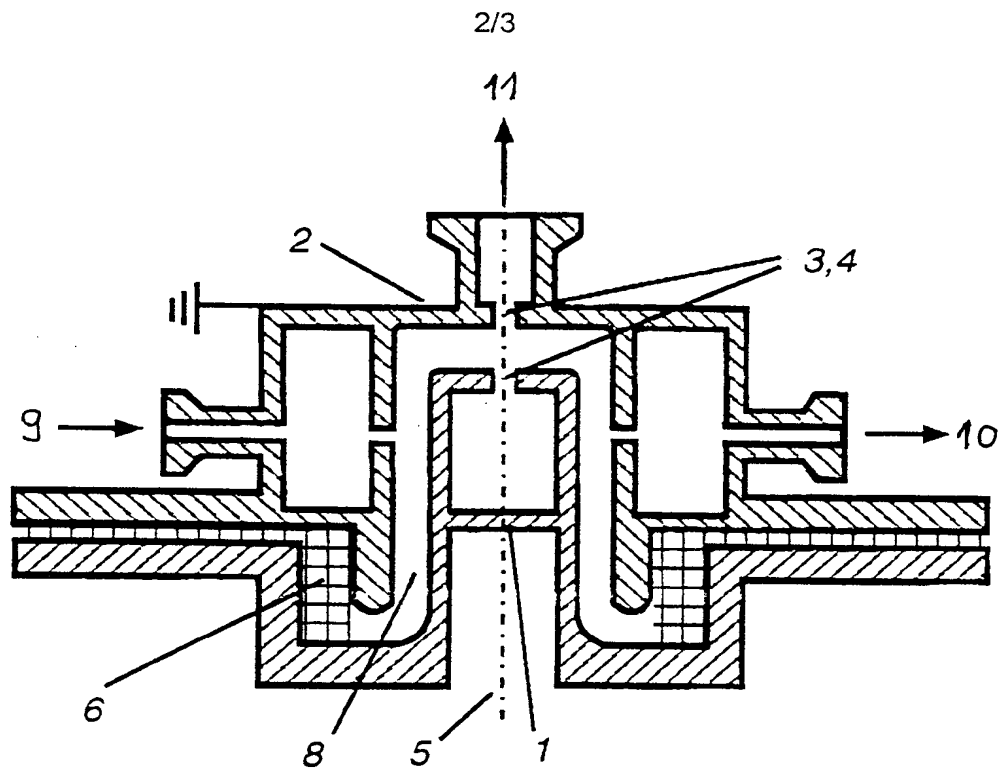


Fig. 2 : Schemabild des Elektrodensystems



3/3

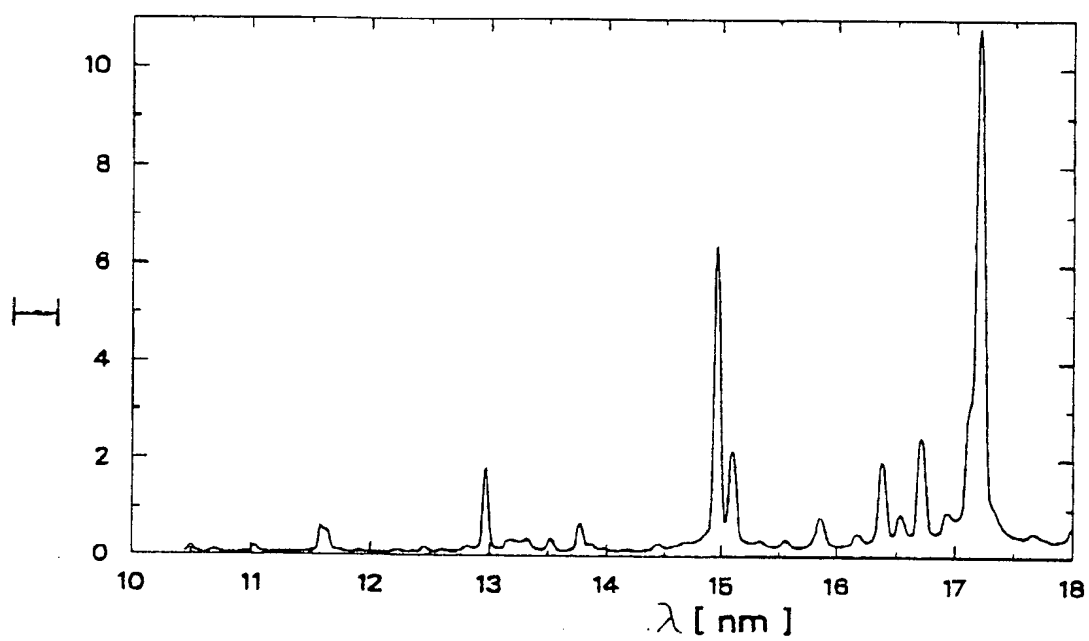


Fig. 3 : Röntgenspektrum

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 98/07829

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 H05G2/00 H01J17/04 H01J17/40 H05H1/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 H05G H01J H05H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 387 838 A (SUESS KG KARL) 19 September 1990 see column 1, line 29 - column 2, line 1 see column 3, line 52 - column 8, line 8; figures ---	1, 14
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 166 (E-746), 20 April 1989 & JP 64 000698 A (HITACHI LTD), 5 January 1989 see abstract ---	1, 14
A	DE 39 42 307 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 4 July 1991 cited in the application see the whole document -----	1, 14

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

31 March 1999

Date of mailing of the international search report

08/04/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Schaub, G

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 98/07829

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0387838 A	19-09-1990	DE 3908480 C	09-08-1990
DE 3942307 A	04-07-1991	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

I. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/07829

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 H05G2/00 H01J17/04 H01J17/40 H05H1/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 H05G H01J H05H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 387 838 A (SUESS KG KARL) 19. September 1990 siehe Spalte 1, Zeile 29 - Spalte 2, Zeile 1 siehe Spalte 3, Zeile 52 - Spalte 8, Zeile 8; Abbildungen ---	1,14
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 166 (E-746), 20. April 1989 & JP 64 000698 A (HITACHI LTD), 5. Januar 1989 siehe Zusammenfassung ---	1,14
A	DE 39 42 307 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 4. Juli 1991 in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument -----	1,14

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

31. März 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/04/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Schaub, G

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

I. Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 98/07829

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0387838 A	19-09-1990	DE 3908480 C	09-08-1990
DE 3942307 A	04-07-1991	KEINE	